3Ж

УДК 621.325:669.539.43

І.М. Журавель
Фізико-механічний інститут ім. Г.В. Карпенка НАН України, м. Львів
Україна, 79060, м. Львів, вул. Наукова, 3

Метод бінаризації металографічних зображень з оптимальним порогом

I.M. Zhuravel
Karpenko Phisico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, c. Lviv
Ukraine, 79060, c. Lviv, Naukova st., 3

Binarization Method for Metallographic Images with Optimal Threshold

И.М. Журавель
Физико-механический институт им. Г.В. Карпенко НАН Украины, г. Львов
Украина, 79060, г. Львов, ул. Научная, 3

Метод бинаризации металлографических изображений с оптимальным порогом

У статті запропоновано метод бінаризації напівтонових зображень з використанням оптимального порогу на основі застосування кореляційної функції. За ефективністю метод не поступається відомим методам глобальної бінаризації, зокрема, методу Отсу.
Ключові слова: бінаризація зображень, оптимальний поріг, кореляційна функція.

The method for binarization of gray-scale images with use of the optimal threshold on the basis of correlation function is considered in the article. By performing, the method is not worse than the well-known global binarization methods, including the Otsu's method.
Key Words: image binarization, optimal threshold, correlation function.

В статье рассмотрен метод бинаризации полутоновых зображений с использованием оптимального порога на основе применения корреляционной функции. По эффективности метод не уступает известным методам глобальной бинаризации, в частности, методу Отсу.
Ключевые слова: бинаризация изображений, оптимальный порог, корреляционная функция.

Актуальність теми та постановка задачі

Велика кількість різноманітних металевих конструкцій та виробів у машинобудуванні, літакобудуванні, хімічній та інших галузях вже вичерпали свій ресурс або підходять до його межі. Створюються нові матеріали, постійно зростають вимоги до їх якості. І в першому, і в другому випадку є необхідність контролювати стан матеріалу, тобто його механічні властивості. У першому випадку контроль дає відповідь на запитання – чи безпечною є подальша експлуатація виробу, у другому випадку – чи відповідає продукція поставленим вимогам щодо якості.

Одним із способів оцінки стану та якості матеріалу у цих двох випадках є визначення вмісту структурних і фазових складових, їх геометричних розмірів, кількості, взаємного розташування. Співвідношення, які пов'язують параметри мікроструктури сплаву з його фізичними та механічними властивостями в кількісній формі, формують простий і зрозумілий метод контролю цього матеріалу. Проте проводити такі дослідження на рівні мікроструктури візуально та вручну є дуже складно, а часом і неможливо, тому це призводить до необхідності розробки та використання комп'ютери-

зованих систем обробки й аналізу металографічних зображень для отримання числової оцінки взаємозв'язку «хімічний склад –структура – властивості». До найбільш відомих програмних продуктів, які розв'язують питання даного напрямку, належать системи, які розроблені фірмами SIAMS [1], PACE Technologies [2], ВідеоТест [3] та ін. У більшості з цих систем під час обробки та аналізу зображень є присутнім етап, під час якого вхідне напівтонове чи кольорове металографічне зображення перетворюють у бінарне і на основі цього визначають геометрію шуканих об'єктів, фрактальну розмірність тощо. Саме цей етап, в більшості випадків, є найбільш відповідальним у дослідженні мікроструктури матеріалів, оскільки від коректності його проведення залежить точність отриманих результатів в цілому. Дана стаття присвячена питанню визначення оптимального порогу при перетворенні напівтонового зображення у бінарне.

Огляд відомих підходів

При бінаризації зображення інтенсивність кожного піксела L(i, j) порівнюється з пороговим значенням інтенсивності L_T, яке може бути постійним для всього зображення чи адаптивним. Якщо значення інтенсивності піксела більше за значення порогу, тоді на бінарному зображенні відповідний піксел буде представлений «білим», в іншому випадку – «чорним». При такому перетворенні важливим є правильний вибір порогового рівня, оскільки він суттєво впливає на формування бінарного зображення, а отже і на отримані результати його наступного аналізу. На рис. 1 наведено результати (б, в та г) обробки вхідного зображення (а) з використанням різних порогових значень. Отримані внаслідок обробки зображення рис. 1б, в, г є різними, такими ж різними будуть і результати їх аналізу. Для прикладу, з такими проблемами доводиться зустрічатися при фрактальному аналізі металографічних та фрактографічних зображень, коли для обчислення фрактальних розмірностей необхідно використовувати бінарні зображення [4]; подібні проблеми виникають і при вимірюванні розмірів зерен [5], де їх межі представляються у бінарному вигляді тощо. Це ще раз доводить актуальність задачі вибору оптимального порогового рівня при бінаризації зображень.

Загалом усі методи бінаризації за способом побудови порогової поверхні L_T поділяються на дві групи: методи локальної та глобальної бінаризації. Порогова поверхня L_T представляє собою матрицю, розміри якої співпадають з розмірами оброблюваного зображення. Кожна комірка матриці L_T задає поріг бінаризації для відповідної комірки на оброблюваному зображенні. В методах глобальної бінаризації порогова поверхня утворена постійними значеннями порогової інтенсивності, у методах локальної бінаризації значення порогової поверхні змінюється від піксела до піксела і залежить від характеристик локального околу оброблюваного зображення.

Розглянемо деякі найбільш вживані методи бінаризації напівтонових зображень. У даній роботі зупинимося на глобальних методах, які володіють більшою швидкодією у порівнянні з локальними, що є важливим при обробці металографічних та фрактографічних зображень, які часто мають доволі великі розміри.



а) б) в) г)

Рисунок 1 – Обробка вхідного зображення (а) глобальним пороговим методом при значенні порогу $L_T = 0{,}3$ (б), $L_T = 0{,}5$ (в), $L_T = 0{,}7$ (г)

Найпростіший з методів порогової обробки полягає в поділі гістограми зображення на дві частини за допомогою єдиного глобального порогу L_T :

$$L_{bin}(i, j) = \begin{cases} 0, L(i, j) \le L_T; \\ 1, L(i, j) > L_T, \end{cases} \quad (1)$$

де $L(i, j)$ – рівень інтенсивності вхідного зображення L в точці з координатами (i, j); L_T – порогове значення інтенсивності; $L_{bin}(i, j)$ – рівень інтенсивності обробленого зображення L в точці з координатами (i, j).

Сегментація зображення згідно з цим методом здійснюється шляхом поелементного сканування зображення, при цьому кожний піксел відноситься до об’єкта або фону, залежно від того, чи перевищує інтенсивність даного піксела значення порогу L_T чи ні. Визначення величини порогу за допомогою гістограми інтенсивностей є простим та ефективним методом, якщо гістограма зображення носить чітко виражений бімодальний характер. Можливі також модифікації розглянутого методу – дворівневі та багаторівневі порогові перетворення. Але, на жаль, в більшості випадків металографічні та фактографічні зображення мають не бімодальну, а більш складну гістограму, тому використання описаного методу не призводить до бажаного результату обробки.

Іншим широковживаним методом є метод порогової обробки на основі градієнта інтенсивності [6]. Алгоритм обчислення порогового значення складається з наступних кроків. Спочатку обчислюємо модуль градієнта інтенсивності для кожного піксела зображення

$$G(i, j) = \max\{|L_i(i, j)|, |L_j(i, j)|\}, \quad (2)$$

де $L_i(i, j) = L(i+1, j) - L(i-1, j)$, $L_j(i, j) = L(i, j+1) - L(i, j-1)$.

Далі обчислюємо порогове значення у відповідності з виразом

$$L_T = \left(\sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} L(i, j) \cdot G(i, j) \right) \Big/ \left(\sum_{i=1}^{M-1} \sum_{j=1}^{N-1} G(m, n) \right), \quad (3)$$

де M, N – розміри вхідного зображення.

Результат роботи методу представлений на рис. 2.


а)


б)

Рисунок 2 – Результат застосування методу порогової обробки на основі градієнта інтенсивності: а – вхідне зображення, б – оброблене розглянутим методом

Одним із найбільш уживаних методів глобальної бінаризації є метод Отсу [7]. Даний метод для пошуку порогу бінаризації використовує гістограму розподілу значень інтенсивностей зображення. Порогове значення згідно з цим методом обчислюється таким чином, щоб мінімізувати середню помилку бінаризації, тобто середню помилку від прийняття рішення про належність пікселів зображення до об’єкта або до фону. Таким чином, дане порогове значення є оптимальним з точки зору мінімуму помилки бінаризації (рис. 3).



а)



б)

Рисунок 3 – Обробка вхідного зображення (а) методом Отсу (б)

Метод бінаризації з використанням оптимального порогу

На підставі проведеного аналізу існуючих методів порогової обробки можна зробити висновок, що бінаризація є ефективною тоді, коли оброблене зображення відображатиме всі деталі вхідного напівтонового зображення. Іншими словами, вхідне напівтонове та результуюче бінарне зображення мають бути максимально подібними. Саме ця ідея є основою розробленого методу. Для цього вхідне напівтонове зображення перетворюють у бінарне згідно з виразом (1), використовуючи всі можливі значення порогу L_T із заданого діапазону. Далі для кількісної оцінки подібності вхідного напівтонового та бінарного зображень використаємо коефіцієнт кореляції k:

$$k = \frac{\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\left(L(i,j)-\overline{L}\right)\cdot\left(L_{bin}(i,j)-\overline{L_{bin}}\right)}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\left(L(i,j)-\overline{L}\right)^2\right)\cdot\left(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M}\left(L_{bin}(i,j)-\overline{L_{bin}}\right)^2\right)}}, \quad (4)$$

де $L(i,j)$, $L_{bin}(i,j)$ – інтенсивності елементів вхідного та бінарного зображень у точці з координатами (i,j) відповідно; $\overline{L}$, $\overline{L_{bin}}$ – середньоарифметичні значення інтенсивностей вхідного та бінарного зображень, які обчислюються за виразами відповідно

$$\overline{L} = \frac{1}{N\cdot M}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} L(i,j),\ \overline{L}_{bin} = \frac{1}{N\cdot M}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{M} L_{bin}(i,j). \quad (5)$$

В результаті проведених обчислень отримаємо залежність між коефіцієнтами кореляції (4) та відповідними пороговими рівнями L_T (рис. 4). Зауважимо, що дана залежність отримана для зображення, яке представлене на рис. 1а. Експериментально встановлено, що для інших зображень вигляд графіку отриманої залежності буде подібний за формою до отриманого.

Таким чином, із сказано вище та рис. 4 слідує, що оптимальним у методі бінаризації буде таке порогове значення L_T, яке забезпечує максимум коефіцієнта кореляції k у виразі (4), тобто максимальну подібність вхідного напівтонового та бінарного зображень. Результати комп’ютерної реалізації розробленого методу представлені на рис. 5.

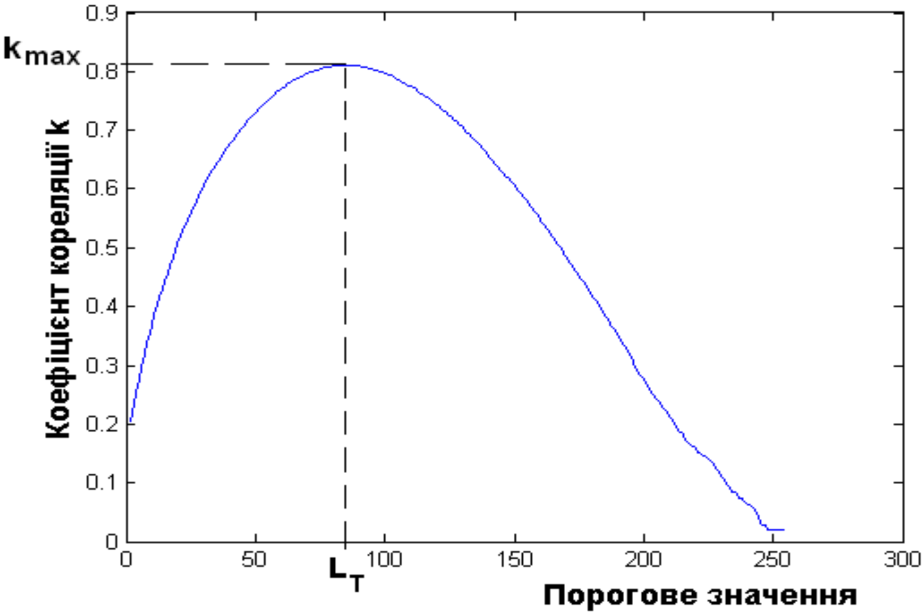


Рисунок 4 – Залежність коефіцієнта кореляції k від порогового рівня L_T

Експериментально встановлено, що за ефективністю обробки запропонований алгоритм не поступається відомим методам глобальної бінаризації, зокрема, методу Отсу [7].


а)


б)

Рисунок 5 – Метод бінаризації зображення з використанням кореляційної функції: а – вхідне напівтонове зображення; б – результат застосування запропонованого методу

Висновки

У даній роботі запропоновано метод бінаризації напівтонових зображень з використанням оптимального порогу, який обчислюється із застосуванням кореляційної функції. За ефективністю метод не поступається відомим методам глобальної бінаризації, зокрема, методу Отсу. При цьому слід зазначити, що якість роботи усіх методів глобальної бінаризації, у тому числі і запропонованого, суттєво залежить від вхідного зображення, зокрема, від рівномірності фону. Тому в деяких випадках, перед використанням цих методів необхідно спершу провести вирівнювання фону вхідного зображення. Одна з переваг запропонованого методу полягає в тому, що тепер на етапі бінарної обробки усунуто суб'єктивний фактор, що дозволяє порівнювати результати аналізу металографічних зображень, отриманих, зокрема, за різних умов освітлення. Запропонований у роботі підхід буде корисним при аналізі металографічних та фактографічних зображень, при обчисленні їх фрактальних розмірностей, виділенні країв, геометричному аналізі меж зерен тощо.

Література

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://siams.com
2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.metallographic.com
3. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://www.videotest.ru
4. Automated determination of grain geometry in an exploited steam-pipeline steel / I.M/ Zhuravel', L.M. Svirs'ka, O.Z Student [et al.] // Materials Science. – Vol. 45, № 3. – P. 350-357.
5. Zhuravel I.M Measurement of the mean grain size in a metal by using fractal dimensions / I.M. Zhurave, L.M. Svirs'ka // Materials Science. – Vol. 46, № 3. - P. 418-420.
6. Gonzalez R.C. Digital Image Processing. / R.C. Gonzalez, P. Wintz // Addisson –Wesley. Reading. Massachusetts. – 1987. – 505 p.
7. Otsu. A threshold selection method from gray-level histograms / Otsu // IEEE Trans. Sys., Man., Cyber.– 1979. – № 9. – P. 62-66,

Literatura

1. http://siams.com
2. http://www.metallographic.com
3. http://www.videotest.ru
4. Automated determination of grain geometry in an exploited steam-pipeline steel / I.M/ Zhuravel', L.M. Svirs'ka, O.Z Student [et al.] // Materials Science. – Vol. 45, № 3. – P. 350-357.
5. Zhuravel I.M Measurement of the mean grain size in a metal by using fractal dimensions / I.M. Zhurave, L.M. Svirs'ka // Materials Science. – Vol. 46, № 3. - P. 418-420.
6. Gonzalez R.C. Digital Image Processing. / R.C. Gonzalez, P. Wintz // Addisson –Wesley. Reading. Massachusetts. – 1987. – 505 p.
7. Otsu. A threshold selection method from gray-level histograms / Otsu // IEEE Trans. Sys., Man., Cyber.– 1979. – № 9. – P. 62-66,

RESUME

I.M. Zhuravel

Binarization Method of Matallographic Images with Optimal Threshold

In most cases, one of the mandatory steps in the analysis of digital images is their threshold processing. This makes it possible to select items of interest for further processing and analysis.

In this case, the object of interest are structural components of metallographic images. One way to assess the status and quality of material is determination of structural and phase components and their geometrical sizes, number, relative position. Value that bind the parameters of the microstructure of the alloy with its physical and mechanical properties in quantitative form, form a simple and intuitive control method of this material. From the above follows that the procedure for converting any halftone image in binary is very responsible. Correctness of its significant impact on the accuracy of further analysis. That this issue is devoted to this work.

The paper presents the use of optimal threshold binarization. The criterion of optimality is the maximum correlation function of the input halftone and binary images processed. Conducted computer simulations of the proposed approach showed efficient processing algorithm does not yield a well-known global binarization methods, including Otsu method.

Стаття надійшла до редакції 06.06.2012.